



**VYSOKÉ UČENÍ TECHICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## **NÁVRH TRÁMOVÉHO MOSTU O JEDNOM POLI** DESIGN OF A ONE-SPAN BEAM BRIDGE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN FOJTŮ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.**

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Jan Fojtů
<b>Název</b>	Návrh trémového mostu o jednom poli
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2012
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

1. Příčný řez
2. Podélný řez

ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí - Obecná pravidla

ČSN EN 1992-2 Navrhování betonových konstrukcí - Betonové mosty

Literatura doporučená vedoucím bakalářské práce

## **Zásady pro vypracování**

Z předběžného návrhu možných typů mostních konstrukcí preferujte trémovou mostní konstrukci o jednom poli.

V práci se zaměřte především na návrh betonové nosné konstrukce mostu dle norem EN.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti dle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1) Použité podklady, studie návrhu mostu

P2) Statický výpočet

P3) Výkresová dokumentace

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě dle směrnic a na CD (1x).

## **Předepsané přílohy**

.....

Ing. Radim Nečas, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Úkolem práce je bezpečný a hospodárný návrh mostní konstrukce přes vodní tok v souladu se všemi platnými normami a předpisy. Ze tří možných variant navržených dle doporučených rozměrů je preferován průřez se dvěma trámy a spolupůsobící deskou. Práce je zaměřena především na návrh betonové nosné konstrukce.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Trámový most, předpjatý beton, změny předpětí, mezní stavy použitelnosti, mezní stav únosnosti

## ABSTRACT

The aim of the thesis is a safe and economical design of a bridge over a watercourse according to all valid regulations and standards. There were designed three possible options in accordance with the recommended dimensions. The variation with the cross-section that consists of two beams and effective width of flanges is preferred. The thesis is mainly focused on the design of bearing concrete structure.

## KEYWORDS

Beam bridge, prestressed concrete, changes in prestressing, serviceability limit state, ultimate limit state

### **Bibliografická citace VŠKP**

FOJTŮ, Jan. *Návrh trémového mostu o jednom poli*. Brno, 2013. 35 s., 120 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových  
a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....  
podpis autora  
Jan Fojtů

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Radimu Nečasovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, ochotu a trpělivost v průběhu zpracování práce.

Díky také patří kolegům, přátelům a rodině za podporu v průběhu celého studia.



## OBSAH

Úvod.....	11
1. Varianty tvaru mostu .....	12
2. Návrh mostu .....	14
2.1 Šířkové uspořádání .....	14
2.2 Nosná konstrukce .....	15
2.3 Mostní svršek .....	15
2.3.1 Vozovkové souvrství .....	15
2.3.2 Mostní římsy .....	15
2.3.3 Záchytná zařízení .....	15
2.4 Spodní stavba .....	15
3. Zatížení.....	16
3.1 Zatížení stálé .....	16
3.2 Zatížení nahodilé .....	16
3.2.1 Dopravou .....	16
3.2.2 Sestavy zatížení dopravou.....	18
3.2.3 Součinitele $\psi$ pro mosty.....	18
4. Zjednodušené řešení .....	19
4.1 Zjednodušený model .....	19
4.2 Zatížení .....	20
4.3 Návrh předpětí .....	21
4.4 Průřezové charakteristiky .....	21
4.5 Mezní stav použitelnosti omezení napětí .....	22
5. Přesné řešení .....	23
5.1 Přesnější model .....	23
5.2 Zatížení .....	24
5.2.1 Zatížení stálé .....	24
5.2.2 Nahodilé .....	24
5.3 Návrh kabelů .....	25
5.4 Průřezové charakteristiky .....	25
5.5 Ztráty předpětí .....	26
5.6 Mezní stav použitelnosti .....	26
5.7 Mezní stav únosnosti .....	28
5.8 Smyk .....	28
5.9 Příčný směr .....	29

6. Závěr.....	31
7. Seznam použité literatury .....	32
8. Seznam obrázků .....	33
9. Seznam tabulek.....	34
10. Seznam příloh .....	35

## Úvod

Tématem práce je návrh silničního mostu přes řeku Bečvu mezi obcí Ústí u Vsetína a městem Vsetín na silnici II/483. Převáděná komunikace je silnice II. třídy kategorie S7,5/70, z níž vyplývá prostorové uspořádání mostu.

Na základě doporučených poměrů výšky nosné konstrukce a rozpětí jsou navrženy 3 varianty možného typu mostní konstrukce. Vybrána je varianta dvoutrémové dodatečně předepnuté konstrukce o jednom poli. Most je zatížen zvolenými modely zatížení dle ČSN EN 1991 – 2: Zatížení mostů dopravou.

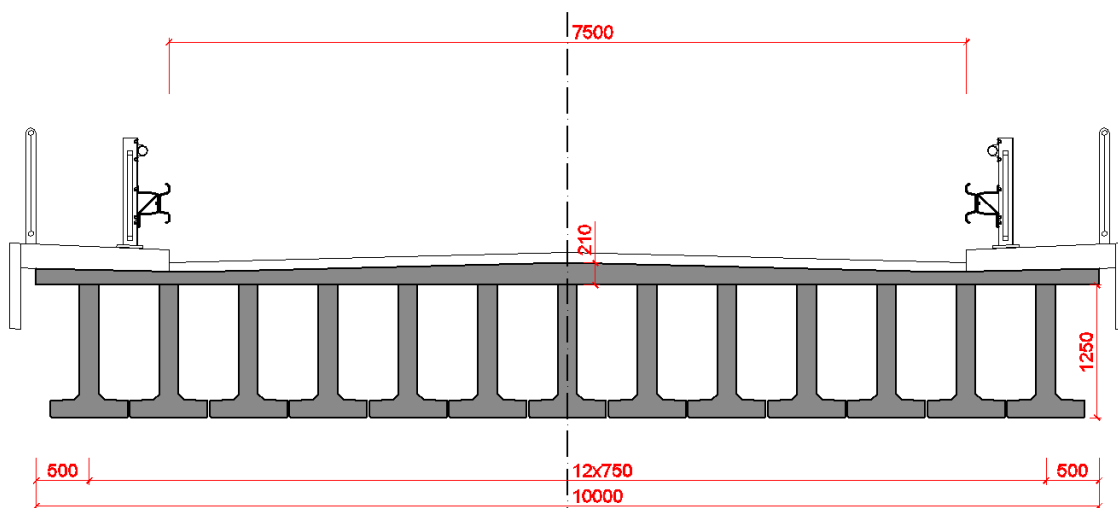
Výpočet je proveden podle postupu uvedeného v ČSN EN 1992 – 1 a v podkladech firmy VSL, VSL European Technical Approval.

Cílem práce je bezpečný a hospodárný návrh mostní konstrukce v souladu se všemi platnými normami a předpisy.

## 1 VARIANTY TVARU MOSTU

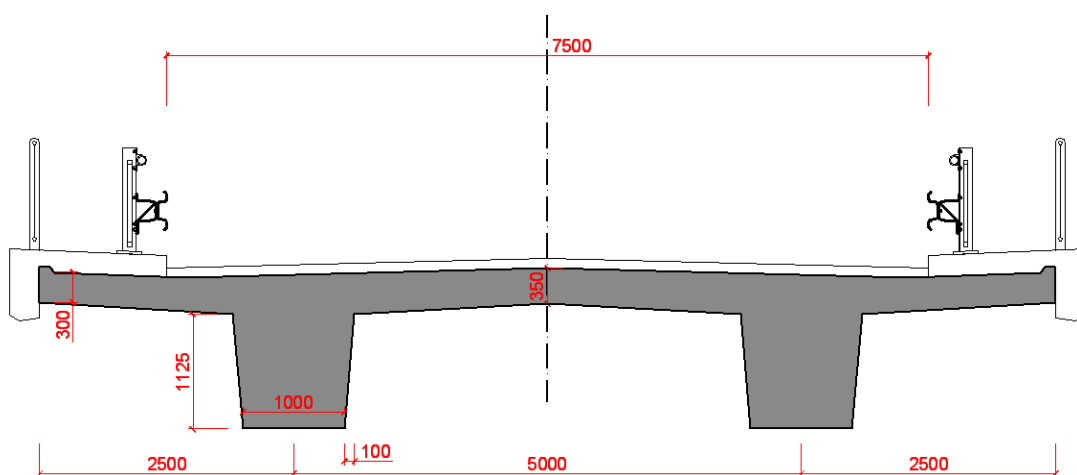
Jednotlivé varianty jsou detailněji popsány v příloze P1 Studie návrhu mostu.

Varianta číslo 1 je tvořena betonovou deskou spřaženou s předem předpjatými prefabrikovanými nosníky VST prostě uloženými na opěře.



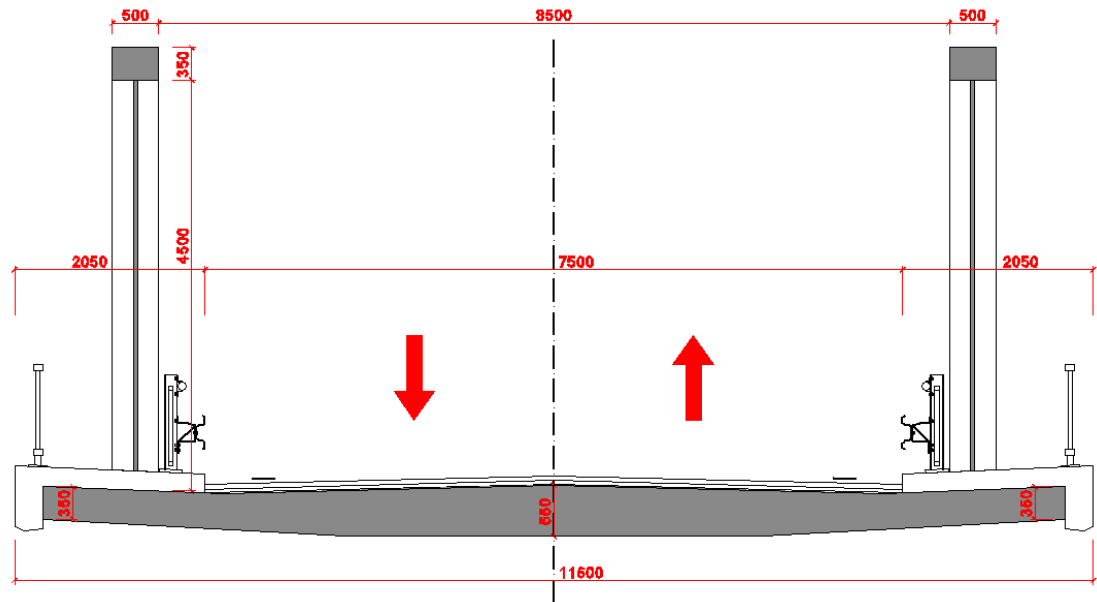
Obr.1 Příčný řez - varianta č.1

Nosnou konstrukci varianty číslo 2 tvoří dva trámy spojené deskou mostovky vytvářející dva průřezy tvaru T. Délka nosné konstrukce je 26,05m.



Obr.2 Příčný řez - varianta č.2

Nosnou konstrukci varianty 3 tvoří ocelový oblouk o vzepětí 4,5m a délce 25,25m. Dolní betonová desková mostovka je zavěšena na zdvojených ocelových závěsech.



**Obr.3 Příčný řez - varianta č.3**

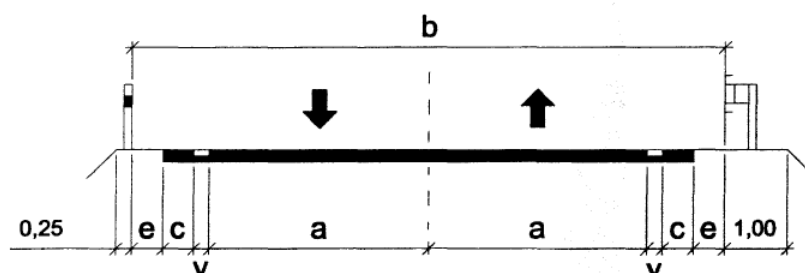
## 2 NÁVRH MOSTU

### 2.1 Šířkové uspořádání

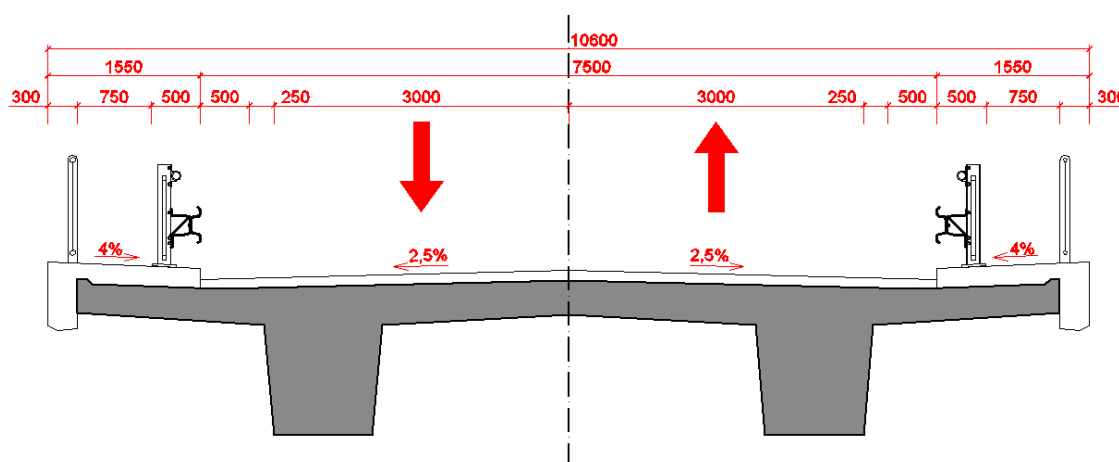
Šířka jízdních pruhů, vodících proužků, zpevněné i nezpevněné části krajnice je stejná jako v přilehlém úseku pozemní komunikace. Most převádí komunikaci S7,5/70, z čehož dle [1] plyne uspořádání znázorněné obr.4.

Návrhová kategorie			Šířka v m			
písmenný znak	b m	návrhová rychlost km/h	a <sup>*)</sup>	v	c	e
S	6,5 <sup>**)</sup>	60; 50	2,75	0,00	0,00	0,50
S	7,5	70; 60; 50	3,00	0,25	0,00	0,50
S	9,5	80; 70; 60	3,50	0,25	0,50	0,50
S	11,5	90; 80; 70	3,50	0,25	1,50	0,50

<sup>\*)</sup> Základní hodnota bez rozšíření ve směrovém oblouku.  
<sup>\*\*)</sup> Navrhuje se při intenzitě silničního provozu do 1000 voz /24 h.



Tab.1 Návrhové kategorie dvoupruhových silnic

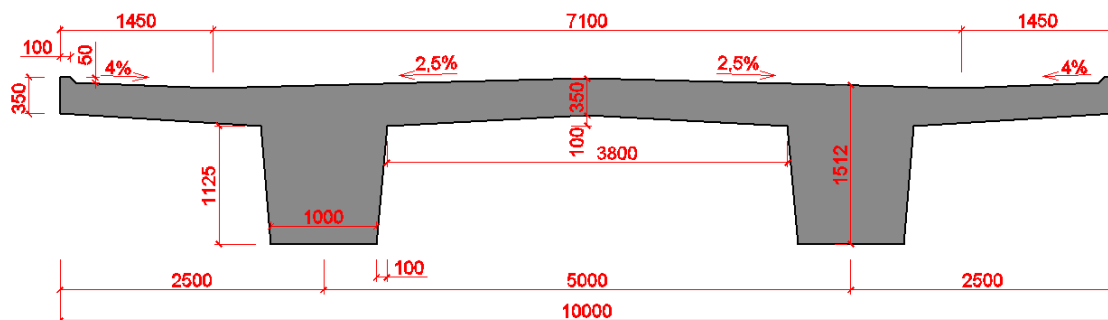


Obr.4 Šířkové uspořádání mostu

Je navržen oboustranný nouzový chodník v šířce 0,75m.

## 2.2 Nosná konstrukce

Návrh rozměrů je proveden v kapitole 4 přílohy P2 Statický výpočet. Horní povrch desky je proveden ve sklonu 2,5%(4%) z důvodu odvedení vody prosáklé konstrukcí vozovky.



Obr.5 Rozměry nosné konstrukce

## 2.3 Mostní svršek

### 2.3.1 Vozovkové souvrství

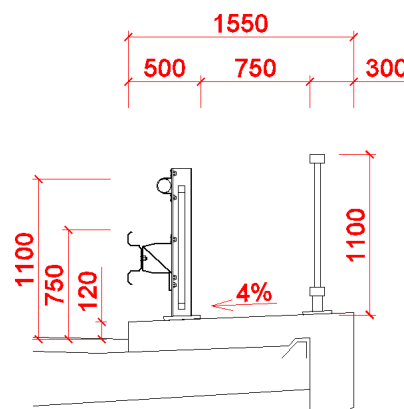
Konstrukce vozovkového souvrství je navržena jako netuhá v celkové tloušťce 100mm. Skládá se z izolačního souvrství (nástřík pečetící vrstvy + asfaltové izolační pásy) tloušťky 10mm, ložného asfaltového betonu tloušťky 40mm a obrusného asfaltového betonu tloušťky 50mm. [2]

### 2.3.2 Mostní římsy

Jsou navrženy monolitické mostní římsy z betonu C 30/37, které přesahují přes nosnou konstrukci o 300mm a jsou k nosné konstrukci kotveny konstrukčním ozubem. [2]

### 2.3.3 Záchytná zařízení

Na mostě jsou navržena po obou stranách komunikace svodidla JSMNH4/H2 a ocelová mostní zábradlí. [2]



Obr.6 Detail uspořádání římsy

## 2.4 Spodní stavba

Most je založen na masivních opěrách se zavěšenými křídly.

### 3 ZATÍŽENÍ

#### 3.1 Zatížení stálé

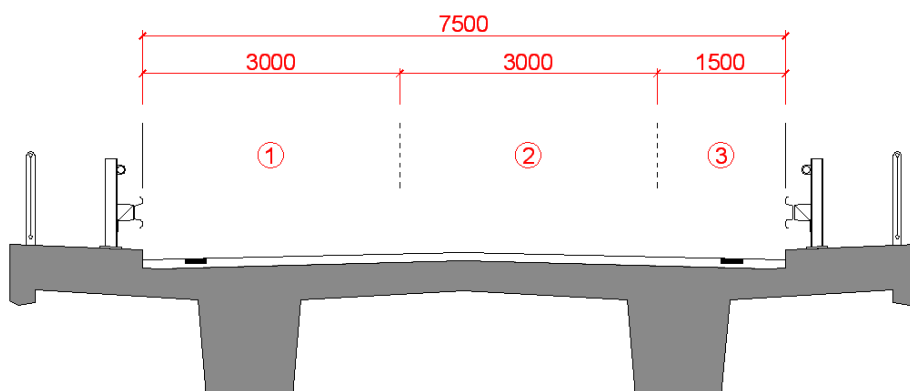
Stálé zatížení jak pro potřeby zjednodušeného ručního řešení, tak pro přesný výpočet je detailně rozebráno v kapitole 6.1 přílohy P2 Statický výpočet.

#### 3.2 Zatížení nahodilá

##### 3.2.1 Dopravou

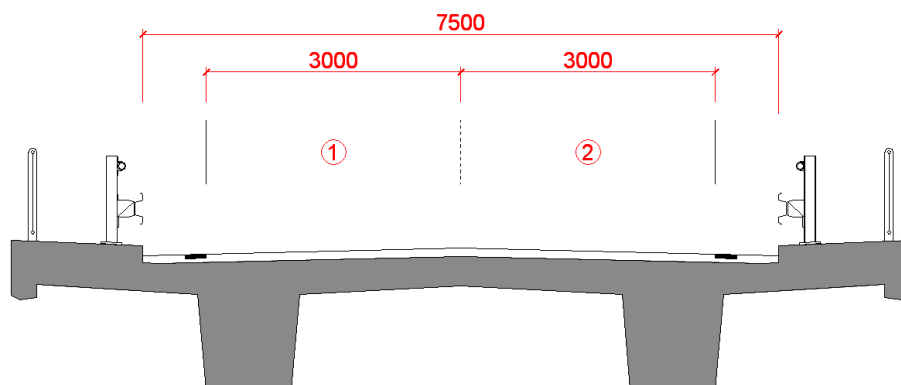
Pro určení lokálních účinků jsou uvažovány modely zatížení LM1 a LM3. **Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů**

Umístění a číslování pruhů je provedeno tak, aby byly účinky od modelů zatížení co nejnepříznivější. [3]



Obr.7 Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů – LM1

Pro LM3 je vozovka definována bez vodících proužků a krajnic.



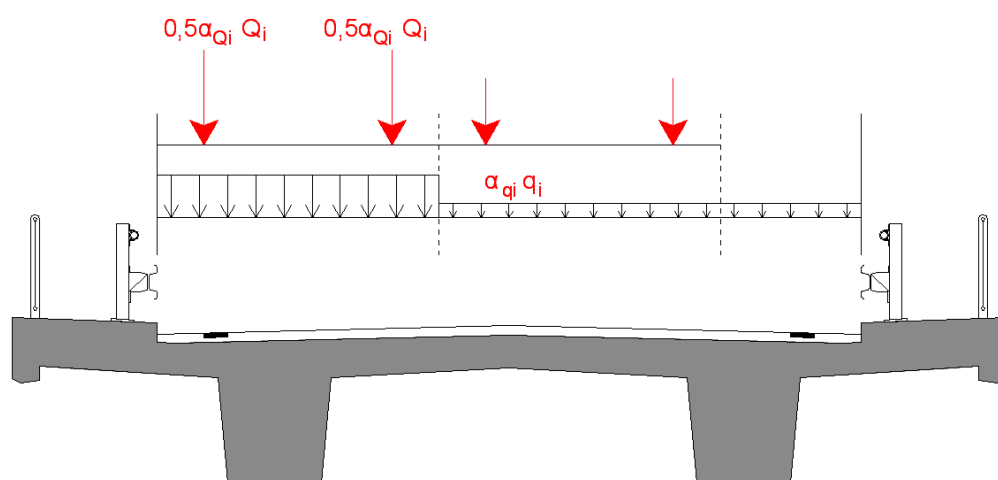
Obr.8 Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů – LM3



Pozemní komunikace II. třídy patří do skupiny pozemních komunikací 1, z čehož plynou hodnoty regulačních součinitelů  $\alpha$ . Kategorie komunikace také určuje typ zvláštního vozidla, jehož pohyb se na komunikaci předpokládá. [3]

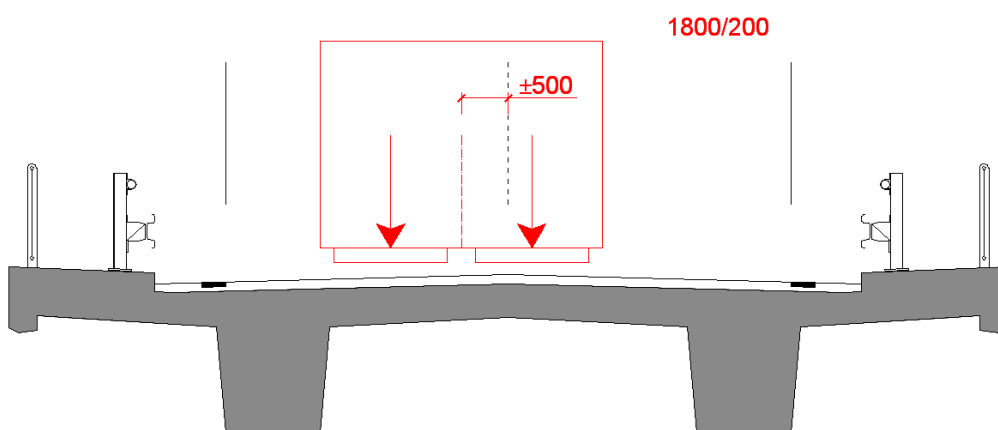
Konkrétní hodnoty kolových tlaků a spojitých zatížení, umístění náprav v zatěžovacím pruhu a dosedací plocha kol jsou patrné z kapitoly 6.2 přílohy P2 Statický výpočet.

### Model zatížení LM1



Obr.9 Model zatížení LM1

### Model zatížení LM3



Obr.10 Model zatížení LM3

### Chodníky

Zatížení chodníků se uvažuje jako spojitě rovnoměrné zatížení o hodnotě  $5\text{KNm}^{-2}$ , ale podle sestavy gr1a je to  $3\text{KNm}^{-2}$  viz tab 2.

#### 3.2.2 Sestavy zatížení dopravou

		Vozovka		Chodník
Zatěžovací systém		Svislé síly		Pouze svislé zatížení
		LM1	LM3	Rovnoměrné zatížení
Sestavy zatížení	gr1a	<b>Charakteristické hodnoty</b>		<b><math>3\text{KNm}^{-2}</math></b>
	gr5	Charakteristické hodnoty rovnoměrného zatížení	<b>Charakteristické hodnoty</b>	

Tab.2 Sestavy zatížení dopravou

V sestavě gr5 není uvažováno rovnoměrné zatížení od LM1, protože při pojezdu zvláštního vozidla pro komunikace II. třídy musí být vyloučena veškerá ostatní doprava na mostě.

Za kombinaci zatížení se považuje současné působení zatížení dopravou s ostatními zatíženími, tzn. zatížení dopravou se uvažuje jako jedno nahodilé zatížení.

#### 3.2.3 Součinitele $\Psi$ pro mosty pozemních komunikací:

Zatížení	Značka		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Dopravou	gr1a	TS (dvounápravy)	<b>0,75</b>	0,75	0
		UDL (rovnoměrné zatížení)	<b>0,40</b>	0,40	0
		Chodci a cyklisti	<b>0,40</b>	0,40	0
	gr5 (zvláštní vozidlo)		0	-	0

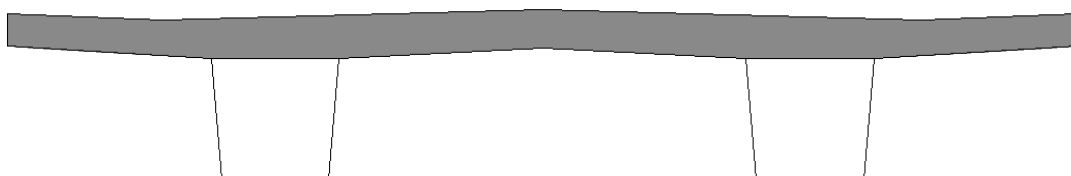
Tab.3 Kombinační součinitele  $\psi$

## 4 ZJEDNODUŠENÉ RUČNÍ ŘEŠENÍ

Cílem je rámcově určit předpínací sílu a provést kontrolu vnitřních sil a návrhu počtu lan u přesného výpočtu. Nejdříve je nutno určit více namáhaný trám a zjistit jeho zatížení, aby bylo možné konstrukci idealizovat prutovým modelem pro snadný výpočet vnitřních sil. Zatížení obou trámů je určeno na základě rozdílů průhybů. Od jednotlivých složek nahodilého zatížení jsou zjištěny na zjednodušeném modelu průhyby a dle jejich poměru je vypočteno, kolik procent který trám z dané složky zatížení přenáší.

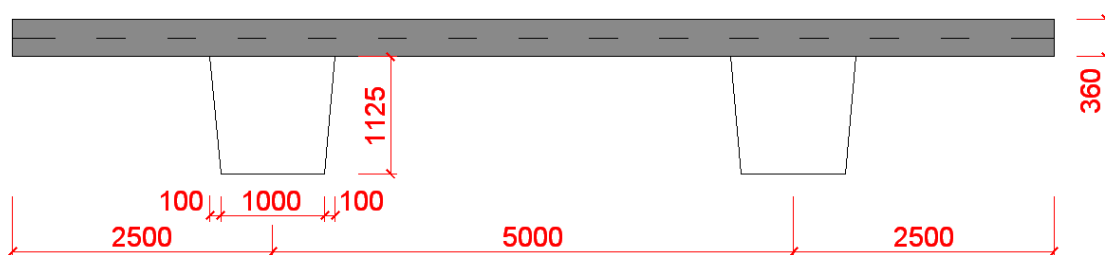
### 4.1 Zjednodušený model

Model konstrukce je vytvořen na základě shodnosti průřezů trámů a podobnosti ploch desky. Skutečný tvar desky má plochu  $A=3,597\text{m}^2$ .



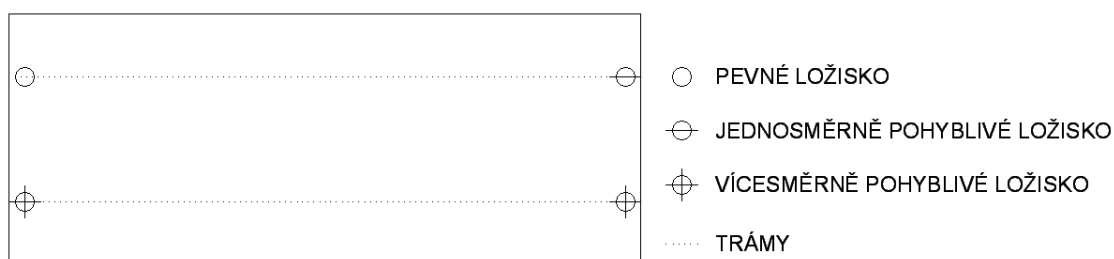
Obr.11 Skutečný tvar desky

Idealizovaný tvar desky pro potřeby ručního výpočtu má plochu  $A=3,600\text{m}^2$



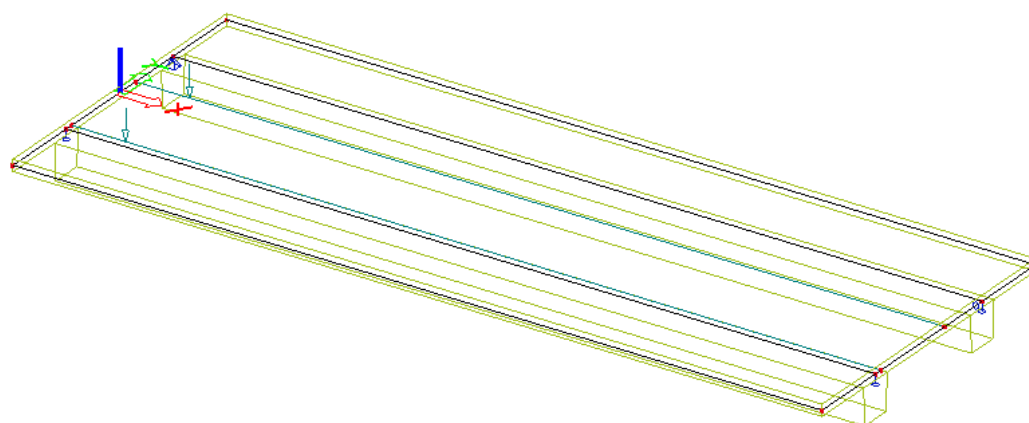
Obr.12 Idealizovaný tvar desky - zjednodušený model

Model je vytvořen v programu SCIA Engineer 2011.1 jako izotropní deska se dvěma žebry dle obr.12. Deska je podepřena v místech trámů dle obr. 13.



Obr.13 Schéma uložení

Axonometrický pohled na model



Obr.14 Zjednodušený model

## 4.2 Zatížení

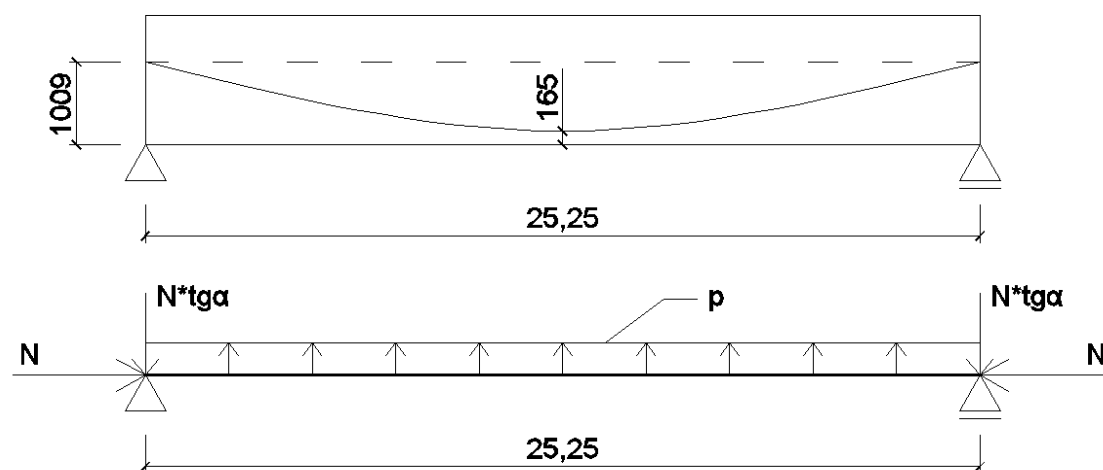
Model je zatížen nahodilým zatížením, sestávajícím z rovnoměrného spojitého zatížení a soustředěných kolových tlaků (LM3 pouze z kolových tlaků), které se roznáší pod úhlem  $45^\circ$  do střednicové roviny desky. Velikosti ploch, intenzity zatížení a poloha zatížení viz kapitola 6.3 přílohy P2 Statický výpočet. Je předpokládáno, že složky stálého zatížení a zatížení chodníku se rozdělí na oba trámy rovnoměrně, proto není nutné jimi model zatěžovat. Kombinace účinků zatížení jsou provedeny dle vzorců v kapitole 6.3 přílohy P2 Statický výpočet.

Na více zatíženém trámu jsou poté na prutovém modelu vypočteny vnitřní síly od zatížení stálého, charakteristických a častých hodnot nahodilého zatížení. Z výpočtu vnitřních sil vyplývá, že model zatížení LM1 vyvolá na konstrukci méně příznivé účinky (větší moment ve středu rozpětí), proto je s ním uvažováno v dalším výpočtu.

### 4.3 Návrh předpětí

Návrh předpětí je proveden metodou vyrovnání zatížení, kdy je předpětím vyrovnáno 70% součtu stálého a nahodilého zatížení (pro tento účel je poněkud nekorektně z momentu od nahodilého zatížení vypočtena průměrná hodnota spojitého nahodilého zatížení, což ale neovlivní výsledek natolik, aby bylo nutné se tímto dále zabývat) viz kapitla 7.1.5 přílohy P2 Statický výpočet. Pomocí ekvivalentního zatížení jsou stanoveny účinky od předpětí a předpínací síla v čase životnosti s odhadnutými výrobními a provozními ztrátami, obě 10%.

$$N_{p0}=12777,778\text{KN}$$



Obr.15 Ekvivalentní zatížení

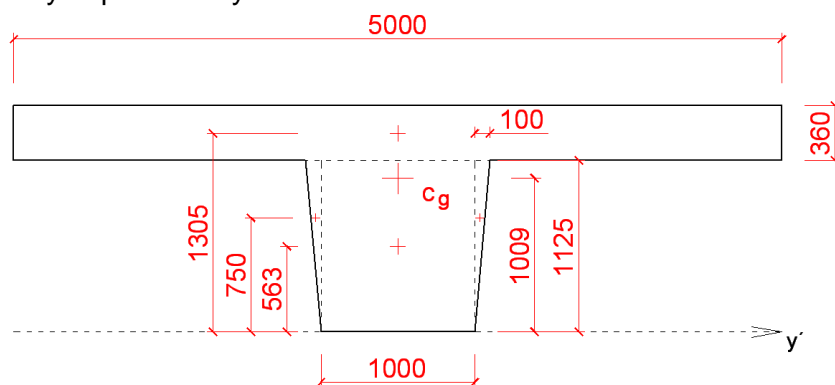
### 4.4 Průřezové charakteristiky

Tvar průřezu odolávající zatížení je zjištěn výpočtem spolupůsobící šířky desky [4], ze kterého plyne, že s trámy deska spolupůsobí v celé své šířce. Na takto zjištěném průřezu je proveden výpočet rozhodujících průřezových charakteristik – plochy a průřezových modulů.

$$A=3,0375\text{m}^2$$

$$w_1=0,531\text{m}^2$$

$$w_2=1,125\text{m}^2$$

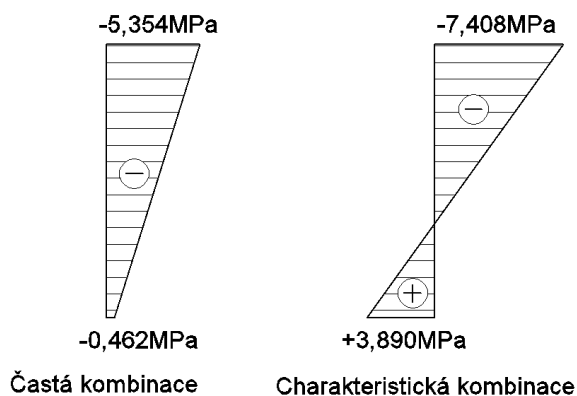


Obr.16 Zjednodušený průřez

#### 4.5 Mezní stav použitelnosti - omezení napětí

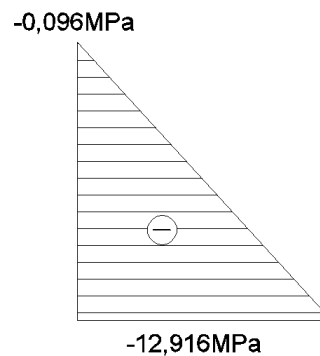
Podle mezního stavu použitelnosti je provedena kontrola napětí v rozhodujících časech a vláknech v polovině rozpětí [5].

NAPĚTÍ V ČASE ŽIVOTNOSTI



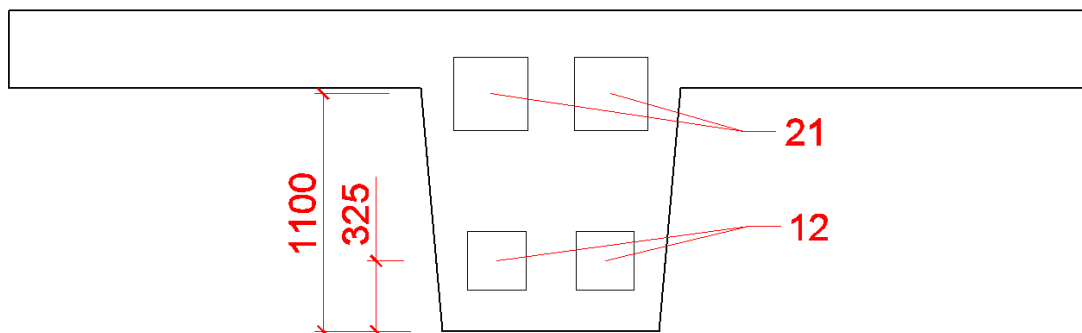
Obr.17 Napětí v čase životnosti

NAPĚTÍ V ČASE VNESENÍ PŘEDPĚTÍ



Obr.18 Napětí v čase vnesení předpětí

Po ověření správnosti rámcového návrhu předpětí kontrolou mezního stavu použitelnosti omezení napětí je z vypočtené předpínací síly a předpokládaného napětí v kabelech určena nutná plocha předpínací výztuže a tím i počet [7] a předpokládané rozmístění lan.



Obr.19 Počet a rozmístění kabelů

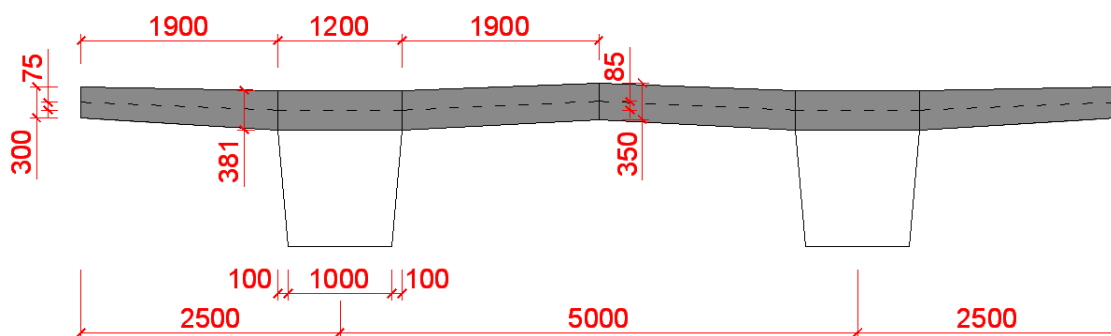
## 5. PŘESNÉ ŘEŠENÍ

### 5.1 Přesnější model

Nejdříve je vytvořen přesnější model, který se více podobá reálné konstrukci. Pomocí šesti izotropních desek, z nichž dvě jsou s žebrem, je lépe vystižen skutečný tvar desky. Tak jako v předešlém případě je tvar jednotlivých desek navrhován na základě podobnosti ploch desky a shodnosti průřezů trámů. Skutečný tvar desky má plochu  $A=3,597\text{m}^2$ .

Při zadávání modelu do výpočtového softwaru jsou ctěna všeobecná pravidla, aby nedošlo k problémům a nefunkčnosti modelu, zejména vzájemnému otočení lokálních os jednotlivých entit. Všechny desky jsou tedy zadávány jedním směrem a jsou zadávány samostatně – je nutno vyhnout se kopírování a zrcadlení mezi nimi. Tato pravidla platí také při zadávání zatížení.

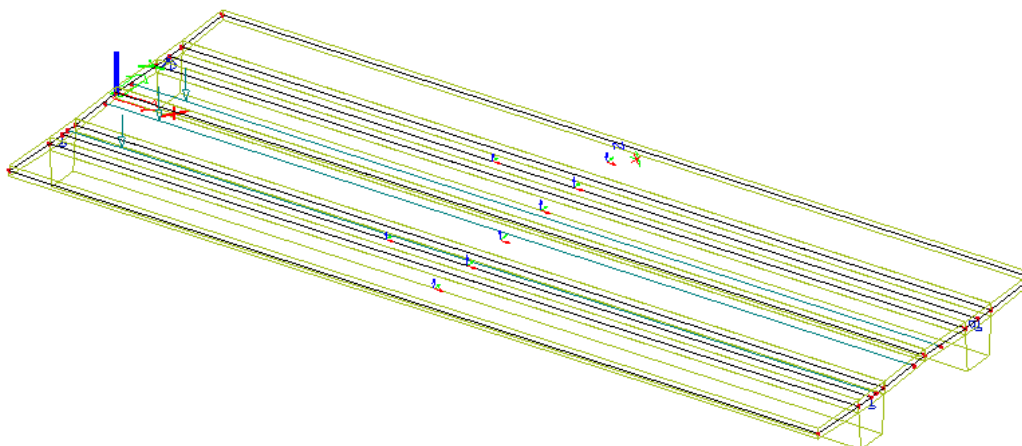
Přesnější model, plocha desky  $A=3,594\text{m}^2$



Obr.20 Idealizovaný tvar desky – přesnější model

Způsob podepření desky je zvolen stejný jako v předešlém modelu.

Axonometrický pohled na model.



Obr.21 Přesnější model

## 5.2 Zatížení

### 5.2.1 Stálé

Vlastní tíha se v softwaru počítá automaticky, proto stačí model zatížit stálým zatížením od říms se zábradlím a svodidly a od konstrukce vozovky viz kapitola 6.1 přílohy P2 Statický výpočet.

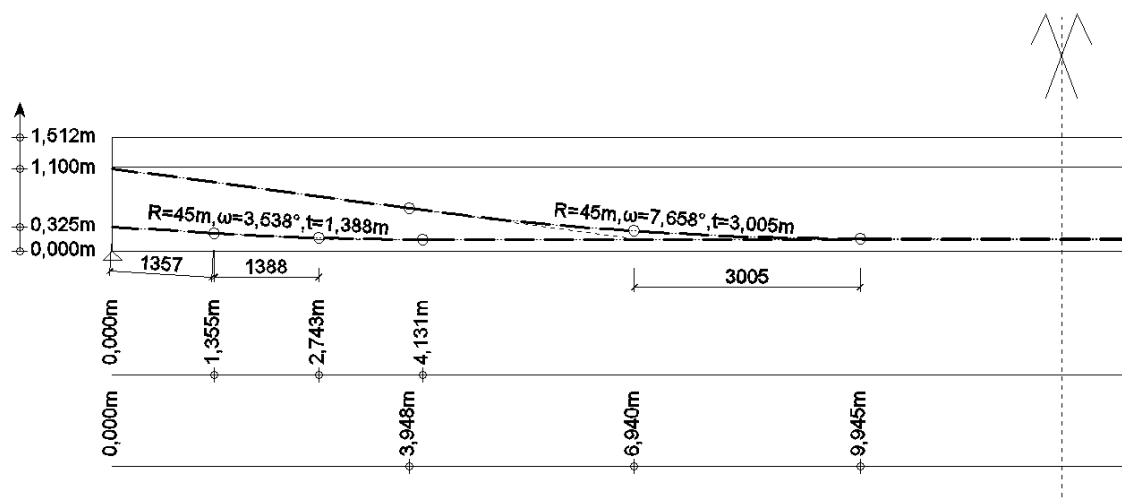
### 5.2.2 Nahodilé

Model je zatížen nahodilým zatížením od chodníku a spojitým rovnoměrným zatížením od dopravy, které je zadáno v intenzitách a polohách zobrazených v kapitole 6.2 přílohy P2 Statický výpočet. Pohyblivá zatížení od kolových tlaků (tandem systém v 1. a 2. pruhu a zvláštní vozidlo) jsou zadána pomocí dopravního pruhu a pojezdu. Principem je, že program do zadaného dopravního pruhu klade v jisté poloze šablonu zatížení po určité vzdálenosti (kroku) a vytváří tak jednotlivé zatěžovací stavy. Pro každý z pojezdů (TS v 1. Pruhu, TS v 2. Pruhu a zvláštní vozidlo, příčný pojezd) je nutno vytvořit skupinu zatížení se vztahem „výběrová“, aby při kombinování účinků složek zatížení program vybíral pouze jeden ze zatěžovacích stavů vyvolávajících maximální (nebo minimální) hledanou statickou veličinu pro daný pojezd. Je provedena kontrola v místě maximálního momentu vytvořením lineární kombinace, která pouze sčítá účinky zadaných zatěžovacích stavů. Kombinace účinků zatížení pro mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti jsou provedeny dle kapitoly 6.3 přílohy P2 Statický výpočet.



### 5.3 Návrh kabelů

Pro návrh kabelů je použit sortiment firmy VSL. Při trasování kabelů jsou ctěny všeobecné zásady, velikosti poloměrů, délky přímých úseků [8]. Jako podklad pro návrh slouží výsledky z ručního řešení, které ale vedly k tomu, že byl průřez předimenzován, především kvůli nepřesnosti odhadů ztrát předpětí a také kvůli tomu, že ekvivalentní zatížení nedostatečně vystihovalo skutečné působení kabelů na konstrukci.



Obr.22 Návrh trasování kabelů

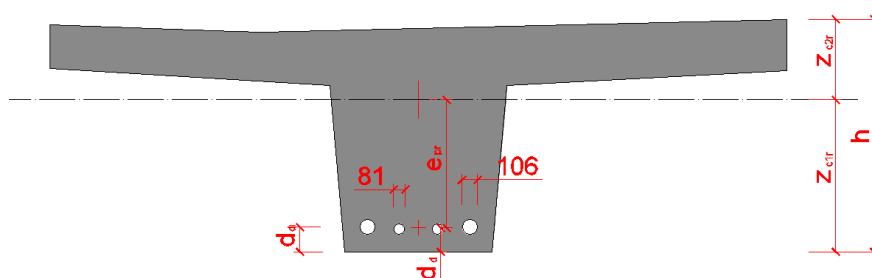
### 5.4 Průřezové charakteristiky

Pro další postup je nutný výpočet průřezových charakteristik na skutečném průřezu oslabeném kabelovými kanálky viz kapitola 7.2.2 přílohy P2 Statický výpočet.

$$A_c = 3,0375 \text{ m}^2$$

$$w_{cr1} = 0,536 \text{ m}^2$$

$$w_{cr2} = 1,046 \text{ m}^2$$



Obr.23 Skutečný průřez

## 5.5 Ztráty předpětí

Krátkodobé ztráty předpětí (třením, pokluzem, krátkodobou relaxací) jednotlivých kabelů jsou vyčísleny pomocí software Scia Engineer, pouze ztrátu postupným napínáním výztuže je nutno určit ručním výpočtem [5].

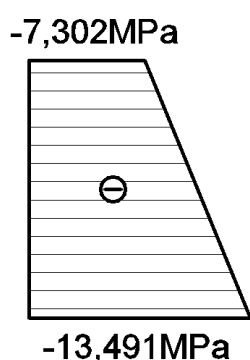
Dlouhodobé ztráty smršťováním, dotvarováním od ostatního stálého a nahodilého zatížení a dlouhodobou relaxací jsou vypočteny ručně [5] (dlouhodobé ztráty lze v programu vypočítat pomocí postupné výstavby ale jen pro prutové modely, nikoli pro modely deskové). Pak jsou vypočteny výsledné hodnoty ztrát předpětí. Při vyčíslování účinků předpětí v čase napínání např. pro výpočet napětí je nutno tyto účinky redukovat o hodnotu ztráty postupným napínáním. Při určování účinků předpětí v čase životnosti je nutno tyto redukovat o hodnotu dlouhodobých ztrát a ztráty postupným napínáním. To je provedeno podílem napětí vypočteného ze ztrát v daném čase ku napětí z výpočtového programu. Tyto podíly je nutno uvádět aby kombinační součinitele při zadávání kombinací do výpočtového programu (pro zobrazení účinků zatížení v daném čase) a také jimi redukovat vnitřní síly ze zatěžovacího stavu předpětí při vyčíslování napětí.

## 5.6 Mezní stav použitelnosti

Návrh (počtu a trasování) kabelů byl optimalizován opakovaným výpočtem mezního stavu použitelnosti. Vždy bylo nutné opravit také vyčíslení krátkodobých i dlouhodobých ztrát.

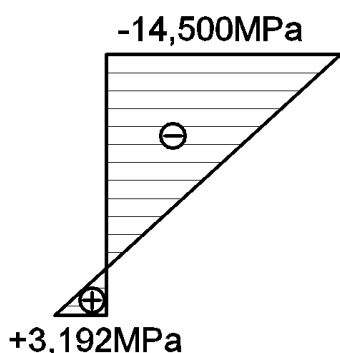
### Omezení napětí

#### Čas napínání

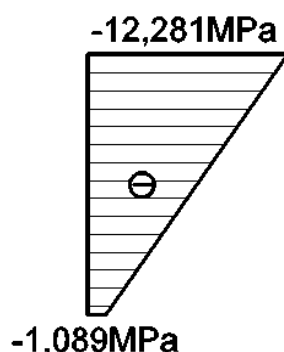


Obr.24 Napětí v čase napínání

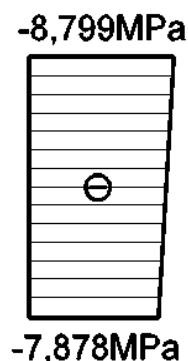
## Čas napínání



Obr.25 Charakteristická kombinace

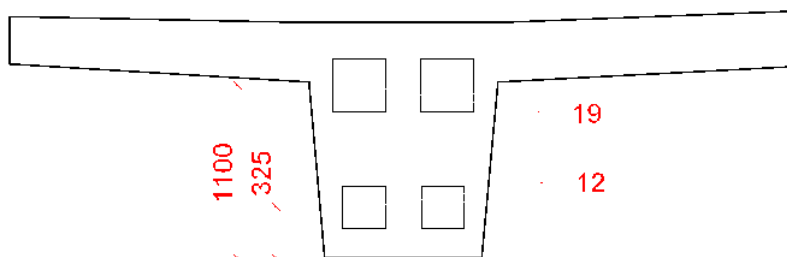


Obr.26 častá kombinace



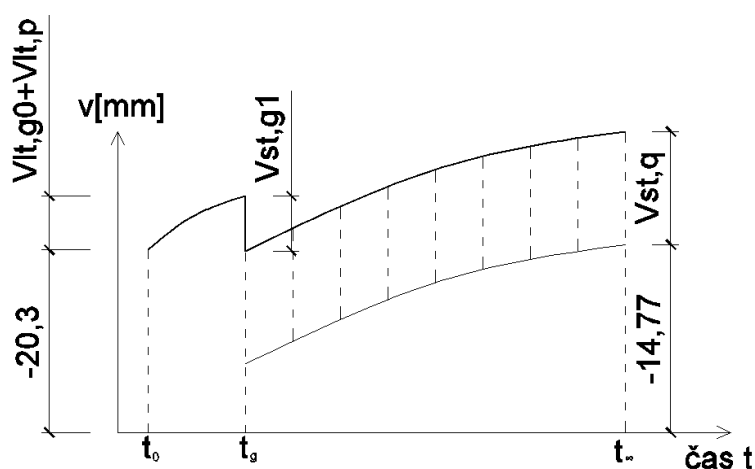
Obr.27 Kvazistálá kombinace

Byla provedena kontrola omezení vzniku trhlin – je splněna podmínka stavu dekomprese pro častou kombinaci zatížení v čase životnosti 100 let viz Obr.26.



Obr.28 Optimalizovaný počet a umístění kabelů

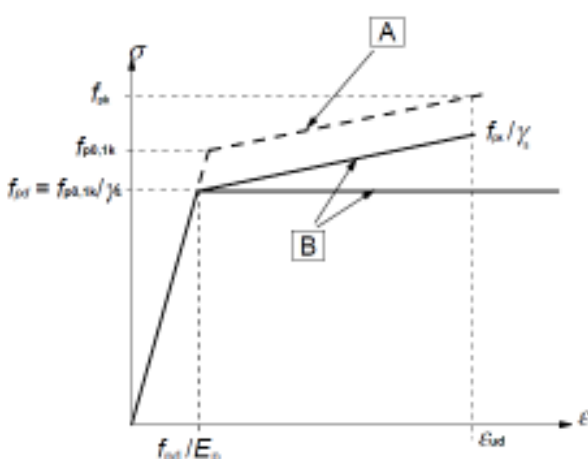
Velikost přetvoření sice není normou omezena (ČSN EN 1991 nestanovuje kritéria omezující průhyb pro mosty pozemních komunikací), ale investor, nebo provozovatel většinou tuto hodnotu požaduje. Průhyby od zatížení jsou brány přímo ze softwaru, od předpětí jsou redukovány o ztráty. Při výpočtu dlouhodobého průhybu se určuje průměrné napětí.



Obr.29 Průhyb konstrukce v čase

## 5.7 Mezní stav únosnosti

Výchozím předpokladem je podmínka rovnováhy sil v průřezu  $N_{Ed}=N_{Rd}$ . Volba výšky neutrálné osy a výpočet sil je opakován do té doby, až platí podmínka rovnováhy sil v průřezu. Je uvažován pracovní diagram předpínací výztuže se stoupající větví, tzv. bilineární diagram, v němž je



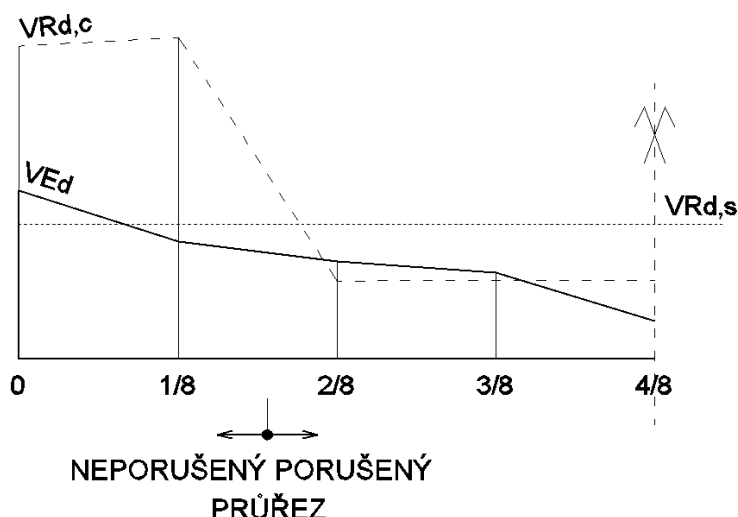
omezeno poměrné  
přetvoření výztuže  
hodnotou  $\epsilon_{cd}=20\text{‰}$  [4].

Obr.30 Pracovní diagram předpínací výztuže

Při uvažování mezního poměrného přetvoření betonu  $\epsilon_{cu}=-3,5\text{‰}$  splněním rovnováhy sil vychází poměrné přetvoření větší než je hodnota  $\epsilon_{cu}$ , proto je nutno zavést předpoklad tlakového porušení průřezu, kdy mezního poměrného přetvoření předpínací výztuže je dosaženo dříve než mezního přetvoření betonu. Únosnost mostu tak vyšla i bez přidávání betonářské výztuže.

## 5.8 Smyk

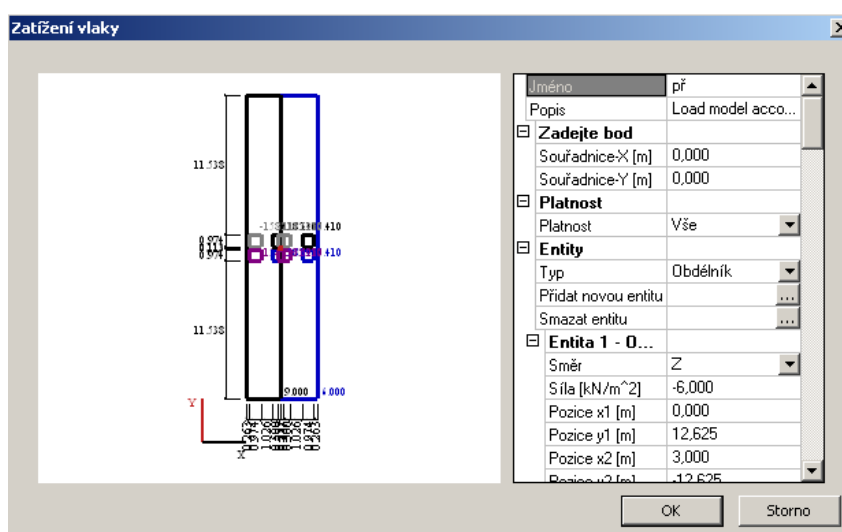
Úhel tlakových diagonál je uvažován  $\theta=30^\circ$ . Posouzení smykové únosnosti je provedeno v osminách rozpětí. Nejdříve je nutno rozhodnout výpočtem napětí, ve kterém místě se průřez poruší trhlinami, které výrazně snižují smykovou únosnost betonového průřezu. Podle toho, zda je posuzovaný řez v porušené, nebo neporušené části průřezu, se volí způsob výpočtu. V neporušené části průřezu není nutno smykovou výztuž navrhovat, třmínky jsou navrženy podle konstrukční zásady minimálního stupně vyztužení. Únosnost takto navržené výztuže je dostatečná v celé délce mostu, tzn. i v porušeném průřezu.



Obr.31 Smyková únosnost průřezu

## 5.9 Příčný směr

Pro lokální ověření je možno zatěžovací pruhy libovolně posouvat v příčném směru tak, aby byly v konstrukci vyvolány co nejnepříznivější účinky [3] (to platí pouze pro model zatížení LM1, pro model LM3 je maximální odchylka od středu mostu dána hodnotou 0,5m). Proto je pro zjištění extrémů vnitřních sil v poli zadán model LM1 jako jediná šablona zatížení, která se po mostě pohybuje v příčném směru (krok 0,25m). Dvounápravy z pruhů 1 a 2 jsou v tomto případě umístěny excentricky vůči podélné ose pruhu, tzn. blíže k sobě tak, aby vzdálenost mezi koly byla 0,5m. Velikosti roznášecích ploch, které na závisí výšce proměnné po šířce desky, jsou uvažovány průměrnou hodnotou.



Obr.34 Šablona zatížení LM1

Od modelu LM3 vznikne maximální dimenzační moment v příčném směru při umístění modelu v ose mostu.

Pro ověření průřezu nad podporou jsou zatěžovací pruhy umístěny na okrajích mostu. Při okraji je umístěno vždy jen jedno kolo z dvounápravy (dvounáprava je umístěna excentricky vzhledem k ose zatěžovacího pruhu).

Na dimenzační momenty  $m_{yD^-}$  a  $m_{yD^+}$  je navržena betonářská výztuž [6] v souladu s podélným směrem (vzdáleností třmínků) tak, aby nedocházelo ke kolizi vložek. Smyková výztuž desky je navržena na posouvající síly v líci podpor (trámů).

## 6 ZÁVĚR

Úkolem práce bylo navrhnout dodatečně předepnutou betonovou mostní konstrukci a posoudit ji na mezní stavy použitelnosti a únosnosti. Konstrukce vyhověla ve všech posudcích na omezení napětí i na omezení vzniku trhlin splněním stavu dekomprese od časté kombinace zatížení v čase životnosti.

V mezním stavu únosnosti byla prokázána dostatečná únosnost konstrukce v posouzení na ohyb za předpokladu tlakového porušení. V posouzení na smyk byla podle konstrukčních zásad navržena smyková výztuž a tato následně posouzena.

V příčném směru byla oveřena únosnost výztuže navržené na ohybový moment a na posouvající sílu.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN 736101. *Projektování silnic a dálnic*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [2] NEČAS, Radim. *Příslušenství*. Přednáška [online]. Dostupné z: <http://necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK 10 Prislusenstvi.pdf>
- [3] NEČAS, Radim. *Zatížení mostů dle evropských norem (EN)*. Přednáška [online]. Dostupné z: <http://necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK 02 Zatizeni mostu EN.pdf>
- [4] EN 1992-1. *Design of concrete sctructures*. Brussels: European Committee for Standardization, 2001.
- [5] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 186 s. ISBN 978-80-7204-561-7.
- [6] PANÁČEK, Josef. *Prvky betonových konstrukcí, Dimenzování betonových prvků – část 1*
- [7] VSL. *Post tensioning solutions EN*. Dostupné z: <http://www.vsl.cz/downloads/42>
- [8] VSL. *VSL European Technical Approval*. Dostupné z: <http://www.vsl.cz/downloads/45>
- [9] ČSN EN 1991-2. *Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha : Český normalizační institut, 2005.



## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 Příčný řez - varianta č.1 .....	12
Obr.2 Příčný řez - varianta č.2 .....	12
Obr.3 Příčný řez - varianta č.3 .....	13
Obr.4 Šířkové uspořádání mostu .....	14
Obr.5 Rozměry nosné konstrukce .....	15
Obr.6 Detail uspořádání římsy .....	15
Obr.7 Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů – LM1 .....	16
Obr.8 Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů – LM3 .....	16
Obr.9 Model zatížení LM1 .....	17
Obr.10 Model zatížení LM3 .....	17
Obr.11 Skutečný tvar desky .....	19
Obr.12 Idealizovaný tvar desky - zjednodušený model .....	19
Obr.13 Schéma uložení .....	20
Obr.14 Zjednodušený model .....	20
Obr.15 Ekvivalentní zatížení .....	21
Obr.16 Zjednodušený průřez .....	21
Obr.17 Napětí v čase životnosti .....	22
Obr.18 Napětí v čase vnesení předpětí .....	22
Obr.19 Počet a rozmístění kabelů .....	22
Obr.20 Idealizovaný tvar desky - přesnější model .....	23
Obr.21 Přesnější model .....	24
Obr.22 Návrh trasování kabelů .....	25
Obr.23 Skutečný průřez .....	25
Obr.24 Napětí v čase napínání .....	26
Obr.25 Charakteristická kombinace .....	27
Obr.26 Častá kombinace .....	27
Obr.27 Kvazistálá kombinace .....	27
Obr.28 Optimalizovaný počet a umístění kabelů .....	27
Obr.29 Průběh konstrukce v čase .....	27
Obr.30 Pracovní diagram předpínací výztuže .....	28
Obr.31 Smyková únosnost průřezu .....	29
Obr.32 Šablona zatížení LM1 .....	29

## 9 SEZNAM TABULEK

Tab.1 Návrhové kategorie dvoupruhových silnic .....	14
Tab.2 Sestavy zatížení dopravou .....	18
Tab.3 Kombinační součinitele $\psi$ .....	18

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

P1	STUDIE NÁVRHU MOSTU	
	P1.1	VARIANTA 1 01
	P1.2	VARIANTA 2 02
	P1.3	VARIANTA 3 03
P2	STATICKÝ VÝPOČET	
P3	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	
	P3.1	PŮDORYS MOSTU 04
	P3.2	ŘEZ A-A 05
	P3.3	ŘEZ B-B 06
	P3.4	ŘEZ C-C 07
	P3.5	VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE 08
	P3.6	VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE 09